

Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Návrh konečné úpravy obrobení uložení
ložisek drtiče kamene**

**The Proposal of the Final Modification of
the Stowage of Stone Crusher Bearing**

Student:

Pavel Janyška

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Janyška**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Téma: **Návrh konečné úpravy obrobení uložení ložisek drtiče kamene**
The Proposal of the Final Modification of the Stowage of Stone Crusher
Bearing
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor problematiky.
3. Návrh vhodné úpravy.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


ŠTUPLA, Miloslav. CNC obrábecí stroje a jejich programování. Praha: BEN -technická literatura, 2006. ISBN 978-80-7300-207-7.
BRYCHTA, Josef; SADÍLEK Marek; ČEP Robert; PETRŮ Jana. Progresivní metody v obrábění: studijní opora. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - TU Ostrava. 2011. ISBN 978-80-248-2513-7.
NESLUŠAN, Miroslav. Experimentálne metody v trieskovom obrábaní. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2007. ISBN 978-80-8070-711-8.
HAVRILA, Michal; Jozef ZAJAC; Josef BRYCHTA; Jozef JURKO. Top trendy v obrábaní. I. časť – Obráběné materiály. Žilina: Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. ISBN 80-968954-2-7.
PERNIKÁŘ, Jiří; Josef VAČKÁŘ a Miroslav TYKAL. Jakost a metrologie. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1997-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

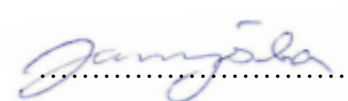



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18.května 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jan Janda", written over a horizontal dotted line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů-že tato bakalářská*) práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020.



Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce Pavel Janyška

Adresa trvalého pobytu autora práce: Riegrova 1942/13, 741 01 Nový Jičín

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

JANYŠKA, P. *Návrh konečné úpravy obrobení uložení ložisek drtiče kamene*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské technologie, 2020, 51 s. Vedoucí práce: Kratochvíl, J.

Bakalářská práce se zabývá návrhem konečné úpravy obrobení uložení ložisek pro drtič kamene. V první fázi práce obecně popisují problematiku struktury povrchu, tolerance tvaru a polohy a jednotlivé dokončovací metody obrábění. V dalším bodě pak podrobně popisují zvolenou technologii válečkování. V experimentální části práce pak porovnávám technologii válečkování s předchozí technologií leštění z hlediska výrobních časů a nákladů na dokončovací proces. Závěrem hodnotím válečkování z technicko- ekonomického, hlediska.

ANNOTATION OF BACHLEOR THESIS

JANYŠKA, P. *The Proposal of the Final Modification of the Stowage of Stone Crusher Bearing*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machinig, Asembly and Engineering Metrology, 2020, 51 p. Thesis head: Kratochvíl, T.

The bachelor thesis deals with the proposal of the final modification of the stowage for stone crusher. In the first part, I generally describe the issue of surface structure, shape and position tolerance and individual final machining methods. After that, I describe in detail technology of roller-burnishing . In experimental parts, I compare technology of roller-burnishing with previous technology of polishing in terms of production time and the cost of the finishing proces. In the end, I evaluate technology of roller-burnishing of technical-economic aspect.

Seznam použitých symbolů

Zkratka / Symbol	V ýznam	Jednotka
V_c	řezná rychlost	m/min
V_f	rychlost posuvu	mm/min
a_p	hloubka řezu	mm
IT	stupeň přesnosti	-
Ra	drsnot povrchu	μm
π	Ludolfovo číslo	-
d	průměr nástroje	mm
n	počet otáček	min^{-1}
C	uhlík	-
Mn	mangan	-
Si	křemík	-
P	fosfor	-
S	síra	-
Cu	měď	-
Re	mez kluzu	Mpa
Rm	mez pevnosti	MPa
A ₅	tažnost	%
HB	tvrdost podle Brinella	-
T _{Cl}	celkový čas leštění	min/ks
N _{Cl}	náklady leštění	Kč/ks
T _{Cv}	celkový čas válečkování	min/ks
N _{Cv}	náklady válečkování	Kč/ks

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Teoretický rozbor dokončovacího procesu obrábění	10
2.1. Požadavky na kvalitu povrchu po obrábění	10
2.1.1. Struktura povrchu	10
2.1.2. Odchyšky tvaru a polohy	13
2.2. Zásady pro konstrukci uložení ložisek.....	16
2.2.1. Radiální zajištění ložisek	16
2.2.2. Axiální zatížení ložisek.....	18
2.2.3. Těsnění.....	18
2.3. Dokončovací metody obrábění s úběrem materiálu.....	19
2.3.1. Soustružení	19
Jemné soustružení.....	19
2.3.2. Frézování	19
Jemné frézování	20
2.3.3. Vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání	20
2.3.4. Broušení	22
2.3.5. Honování.....	24
2.3.6. Lapování	25
2.3.7. Superfinišování	25
2.3.8. Leštění.....	26
2.4. Dokončovací metody obrábění bez úběru materiálu	26
2.4.1. Otryskávání, kuličkování, balotínování	27
2.4.2. Hlazení	27
3. Teoretický rozbor technologie válečkování	28
3.1. Druhy válečkování	29
3.1.1. Statické válečkování	29
3.1.2. Dynamické válečkování.....	29
3.2. Rozhodující účinky metody válečkování	29
3.2.1. Vyhlazení povrchu strojních součástí válečkováním	29

3.2.2.	Zpevnění povrchu materiálu strojní součásti válečkováním	31
3.2.3.	Kalibrování rozměrů strojních součástí válečkováním.....	31
3.3.	Rozměry a geometrické tvary tvářecích tělísek	32
3.4.	Volba pracovních podmínek	32
3.4.1.	Rychlost válečkování	33
3.4.2.	Pracovní posuv nástroje	33
3.4.3.	Optimální velikost přitlačné síly	33
3.4.4.	Počet převálečkování	33
3.4.5.	Vliv chlazení a mazání.....	34
3.4.6.	Faktory ovlivňující výsledek válečkování	34
3.5.	Nástroje pro válečkování	34
3.5.1.	Volba válečkovacího nástroje	34
3.5.2.	Rozdělení nástrojů pro válečkování.....	35
3.6.	Stroje pro válečkování	37
3.7.	Ekonomická efektivnost procesu válečkování	38
4.	Experimentální část	39
4.1.	Úvod a cíl experimentu	39
4.2.	Vlastnosti materiálu	39
4.3.	Popis stroje	40
4.4.	Popis použitých nástrojů	41
4.5.	Popis předchozího řešení problematiky leštěním	42
4.5.1.	Postup při dokončovací operaci obrobení uložení leštěním	42
4.5.2.	Celkový čas a cena dokončovacího způsobu leštění	43
4.6.	Popis nového řešení problematiky válečkováním.....	44
4.6.1.	Postup při dokončovací operaci obrobení uložení válečkováním	44
4.6.2.	Celkový čas a cena dokončovacího způsobu válečkováním	45
4.6.3.	Kontrola rozměru, drsnosti a tolerance tvaru a polohy.....	45
4.7.	Technicko-ekonomické zhodnocení	47
5.	Závěr.....	48
	Seznam použitých zdrojů	49

1. Úvod

Trendem této moderní doby ve strojírenském průmyslu je neustálé zvyšování nároků a požadavků zákazníka na kvalitu, přesnost, efektivitu a v neposlední řadě i na schopnost splnit tyto požadavky v co nejkratším časovém intervalu. Dokončovací operace v obrábění mají obrovský význam, jelikož nám do značné míry ovlivňují právě tyto požadavky. Do dokončovacích metod obrábění můžeme zahrnout metody například jemného soustružení, honování, lapování, superfinišování, leštění, a jiné.

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem dokončovací operace obrobení uložení ložisek pro drtiče kamene. V teoretické části této bakalářské práce jsou rozebrány jednotlivé možnosti dokončovacích operací, následně je pak dopodrobna rozebrána zvolená technologie válečkování, společně i s nástroji, které se využívají pro tento proces. V praktické části je pak současná metoda válečkování porovnávána s předešlou metodou leštění z hlediska technicko-ekonomického. Důvodem zpracování tohoto tématu je ověření vhodnosti zvolené metody a snížení výrobních časů a s tím i spojené náklady pro výrobu součástí.

2. Teoretický rozbor dokončovacího procesu obrábění

V dnešní moderní době plné technologických modernizací se kladou vyšší a vyšší nároky na kvalitu a přesnost povrchu obráběné součásti. Výsledná kvalita povrchu závisí na použité technologii obrábění, použitém nástroji, potažmo stroji či na volbě řezného prostředí a řezných podmínek. Velký důraz je kladen především na statickou a dynamickou tuhost stroje, nástroje, obrobku a přípravku. Právě tyto kladené požadavky na přesnost a drsnost funkčních ploch strojních součástí a zařízení častokrát nelze dosáhnout běžnými způsoby třískového obrábění. Proto se po těchto běžných způsobech obrábění provádí dokončovací metody úpravy povrchu jejichž účelem je dosáhnout požadované jakosti obrobené plochy a vysoké přesnosti předepsaného rozměru při dodržení geometrickém tvaru.

2.1. Požadavky na kvalitu povrchu po obrábění

Požadavky na kvalitu povrchu po obrábění můžeme rozdělit do dvou skupin. Požadavky na drsnost povrchu a požadavky geometrickou přesnost.

2.1.1. Struktura povrchu

Struktura neboli drsnost povrchu se rozděluje na jednotlivé složky dle rozteče příslušných nerovností. Jedná se o složku s nejmenší roztečí tvořící drsnost povrchu, složku nazvanou vlnitost povrchu a třetí složkou je složka s největší roztečí nerovností, která je určena základním profilem. V normě ČSN EN ISO4287 jsou definovány tyto geometrické parametry: ⁷

- P – pro základní profil.
- R – pro drsnost povrchu.
- W – pro vlnitost povrchu.

Hlavním zdrojem informací je pak profilová norma. V normě ČSN EN ISO4287 jsou definovány parametry:

- Profil povrchu – jako průsečnice skutečného povrchu a příslušné roviny.
- Snímaný profil – jako geometrické místo středů snímacího hrotu stanovených parametrů.
- Referenční profil – jako dráha, po které se, podél vedení, pohybuje snímač v rovině řezu.
- Základní profil – jako úplný profil po aplikaci krátkodobého filmu λ_s . Ten reprezentuje základnu pro číslíkové zpracování profilu za pomoci filtru profilu a pro výpočet parametru profilu.

- Zbytkový profil – jako základní profil, který je získán snímáním ideálně hladkého a rovného povrchu. Zbytkový profil se skládá z úchylek vedení, vnitřních a vnějších poruch a úchylek, které vznikly při přenosu profilu.
- Profil drsnosti – jako profil, který je odvozený z profilu základního potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu λ_c . Tento profil je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti.
- Profil vlnitosti – jako profil odvozený postupnou aplikací filtru λ_f a λ_c na základní profil.

Filtrací rozumíme proces odstraňování nechtěných složek profilu. Hodnota, která odděluje dlouhovlnné složky od těch krátkovlnných se nazývá mezní vlnová délka filtru.

Filtry profilu:

filtr λ_c – jako filtr, který určuje rozhraní mezi složkami vlnitosti a drsnosti,

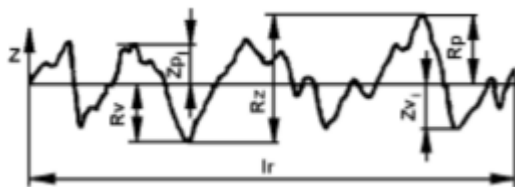
filtr λ_f – jako filtr, který určuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu,

filtr λ_s – jako filtr, který určuje rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu.

Základní délka l_r je délka ve směru osy x používaná pro rozeznání nerovnosti charakterizujících daný profil. Vyhodnocovaná délka l_n je délka ve směru osy x používaná pro posouzení vyhodnocovaného profilu a může obsahovat jednu nebo více základních délek.^{7,8}

Parametry drsnosti:

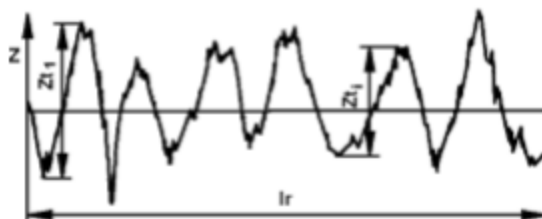
- Největší výška výstupku profilu R_p – je to výška Z_p největšího výstupku profilu v rozmezí základní délky l_r .
- Největší hloubka prohlubně profilu R_v – je to hloubka Z_v nejnižší prohlubně v rozmezí základní délky l_r .
- Největší výška profilu R_z – je to součet hloubky Z_v nejnižší prohlubně a výšky Z_p největšího výstupku v rozmezí základní délky l_r .⁸



Obr. 2.1 – Parametry R_v , R_p , R_z ⁸

- Průměrná výška profilu R_c – je to průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky l_r . Hodnotu R_c lze určit dle vztahu: ⁸

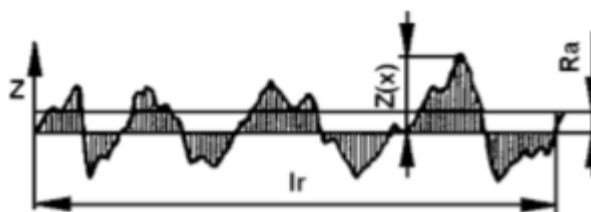
$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i} \quad ^8$$



Obr. 2.2 – Parametry pro stanovení R_c ⁸

- Střední aritmetická úchylka profilu R_a – je to aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r . Vypovídající schopnost parametru R_a je však nízká, jelikož parametr R_a nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu a hloubky rýh profilu. Hodnotu R_a lze určit dle vztahu: ⁸

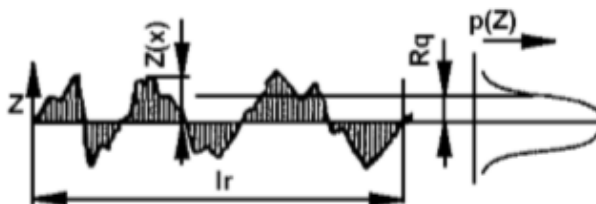
$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad ^8$$



Obr. 2.3 – Parametr R_a ⁸

- Průměrná kvadratická úchylka profilu R_q – je to průměrná kvadratická hodnota pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r . Tento parametr má význam při statistickém pozorování profilu povrchu, jelikož zároveň odpovídá standartní odchylce z profilových souřadnic. Hodnota R_q lze určit dle vztahu: ⁸

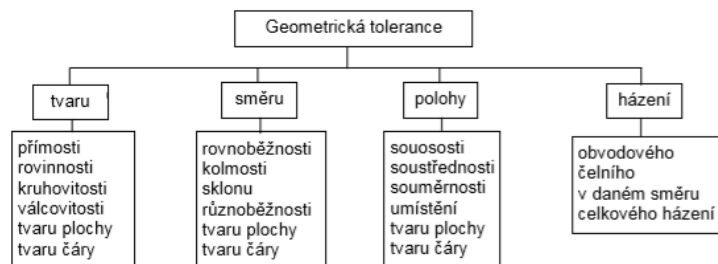
$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^2(x) dx} \quad ^8$$



Obr. 2.4 – Parametr R_q ⁸

2.1.2. Odchylyky tvaru a polohy

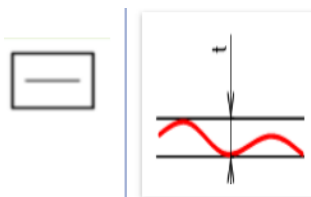
Každá součást, skládající se z jednoduchých nebo složitých ploch, má stanovenou určitou jmenovitou velikost a také toleranci, ve které by se měla nacházet poloha nebo tvar plochy. V normě ISO 1101 je geometrická tolerance definována jako toleranční pole, ve kterém se musí nacházet skutečný prvek součásti. ⁸



Obr. 2.5 – Klasifikace geometrických tolerancí dle normy ISO 1101 ⁸

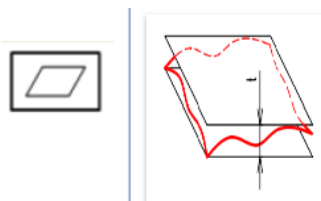
Odchylyky tvaru:

- Odchylka přímosti – definujeme jako největší naměřenou hodnotu vzdálenosti skutečné přímky od přímky obalové v rozsahu vztažného úseku.



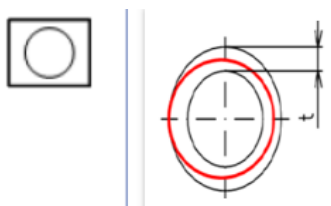
Obr. 2.6 – Značka a tolerance přímosti ⁹

- Odchylka rovinnosti – definujeme jako největší vzdálenost skutečné roviny od roviny obalové.



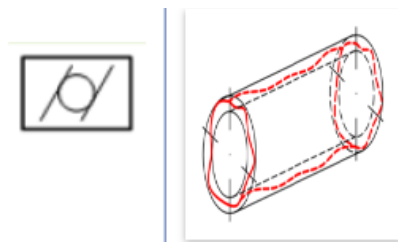
Obr. 2.7 – Značka a tolerance rovinnosti ⁹

- Odchylka kruhovitosti – definujeme jako největší naměřenou kolmou vzdálenost profilu od obalové kružnice.



Obr. 2.8 – Značka a tolerance kruhovitosti⁹

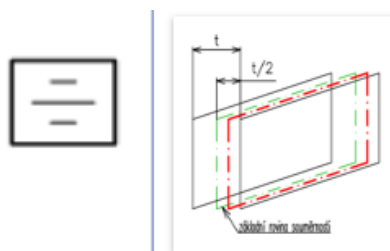
- Odchylka válcovitosti – definujeme jako největší naměřenou kolmou vzdálenost mezi skutečným válcem a válcem obalovým.



Obr. 2.9 – Značka a tolerance válcovitosti⁹

Odchyly polohy:

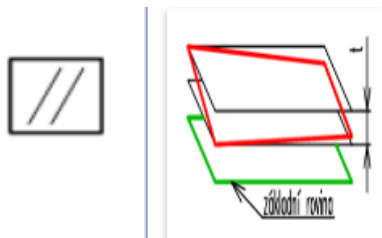
- Odchylka souososti – definujeme jako největší vzdálenost mezi osou uvažované rotační plochy a osou plochy základní nebo společnou osou dvou a více rotačních ploch na délce vztaženého úseku.
- Odchylka souměrnosti – definujeme jako největší vzdálenost mezi rovinou souměrnosti uvažovaného prvku a rovinou souměrnosti prvku základního v rozsahu vztaženého úseku.



Obr. 2.10 – Značka a tolerance souměrnosti⁹

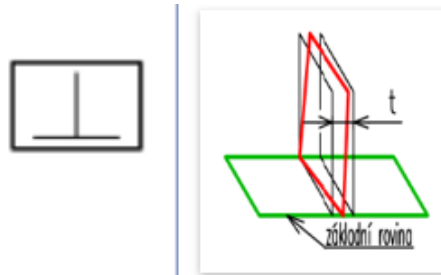
Odchyly směru:

- Odchylka rovnoběžnosti – definujeme jako rozdíl největší a nejmenší vzdálenosti mezi rovinami v rozsahu vztaženého úseku.



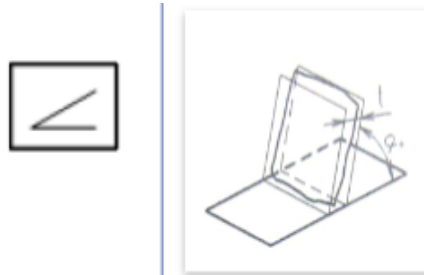
Obr. 2.11 – Značka a tolerance rovnoběžnosti⁹

- Odchylka kolmosti – definujeme jako odchylku úhlů mezi rovinami od pravého úhlu (90°), která je vyjádřena v lineárních jednotkách na délce vztažného úseku.



Obr. 2.12 – Značka a tolerance kolmosti⁹

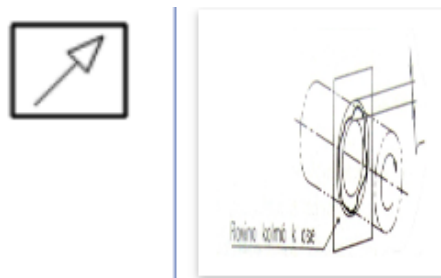
- Odchylka sklonu – definujeme jako odchylku úhlů mezi dvěma rovnoběžnými rovinami svírajícími se základnou daný úhel.



Obr. 2.13 – Značka a tolerance sklonu⁹

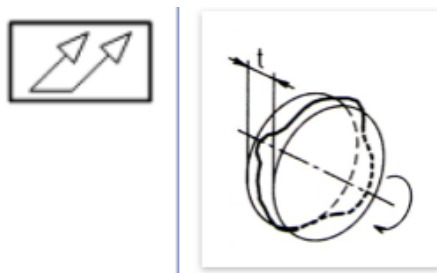
Odchylky házení:

- Odchylka kruhového házení – definujeme jako odchylku dvou soustředných kružnic, mezi kterými leží každý bod uvažované kružnice.



Obr. 2.14 – Značka a tolerance kruhového házení⁹

- Odchylka celkového házení – definujeme jako toleranci dvou rovnoběžných rovin, mezi kterými leží každý bod při rotaci uvažované kružnice.



Obr. 2.15 – Značka a tolerance celkového házení ⁹

2.2. Zásady pro konstrukci uložení ložisek

Požadavky na rychlost, výkonnost, přesnost, spolehlivost a na životnost přístrojů, měřidel strojů a strojních zařízení se neustále zvyšují. K důležitým a těžko nahraditelným součástem patří jednoznačně i ložiska. Aby byly zcela využity vlastnosti ložisek, musí být jejich uložení přesné a ložiskové kroužky podepřeny po celém obvodu a celé šířce oběžných drah. Dále také musí být ložiskové kroužky dostatečně a spolehlivě zajištěny, aby se při zatížení neotáčely v tělese nebo na hřídeli. ^{10,11}

2.2.1. Radiální zajištění ložisek

Ložisko se upevňuje v radiálním směru na lícované válcové ploše čepu a díry v tělese. V některých případech se při upevňování na čep používá upínací nebo stahovací pouzdro, případně lze ložisko upevnit přímo na kuželový čep. ¹¹

Správné radiální upevnění ložiska na čepu a v tělese má značný vliv na využití jeho únosnosti a správnou funkci uložení. Přitom jsou důležitá tato hlediska:

- bezpečné upevnění a rovnoměrné podepření kroužků,
- jednoduchá montáž a demontáž,
- posun volného ložiska v axiálním směru.

Zásadně by měly být oba ložiskové kroužky pevně uloženy, protože jedině tak se docílí jejich spolehlivého podepření po celém obvodu a radiální upevnění proti protáčení. Pro ulehčení montáže a demontáže nebo na posouvání volného ložiska je dovolené posuvné uložení jednoho z kroužků.

Při volbě správného radiálního upevnění ložiska posuzujeme a zohledňujeme vliv způsobu otáčení a velikosti zatížení. ^{10,11}

Obvodové zatížení – nastává tehdy, otáčí-li se příslušný ložiskový kroužek a směr zatížení se nemění, nebo pokud se kroužek neotáčí a zatížení rotuje. Obvod ložiskového kroužku je během jedné otáčky zatěžován postupně. V těchto případech musí být zatížený kroužek vždy pevně uložen s potřebným přesahem. ¹¹

Bodové zatížení – nastává tehdy, když ložiskový kroužek stojí a vnější síla směřuje stále do téhož bodu dráhy, nebo se kroužek i síla otáčejí stejnou frekvencí otáček. Kroužek, na který působí bodové zatížení, může být uložený hybně, pokud to vyžadují podmínky. ¹¹

Neurčitý způsob zatížení – při tomto způsobu zatížení působí na kroužek proměnné vnější síly, při kterých nelze určit směr a změnu zatížení (např. nevyvážené hmoty, nárazy atd.). Neurčité zatížení vyžaduje, aby byly oba kroužky pevně uloženy (s přesahem). ¹¹

Velikost zatížení – má přímý vliv na volbu velikosti přesahu v uložení. Čím větší je zatížení ložiska, tím větší přesah v uložení se musí volit. To platí hlavně pro případy rázového a vibračního zatížení ložiska. Pevné uložení na čepu nebo v díře vyvolá deformaci kroužku, tím pádem dojde ke zmenšení radiální vůle. Aby byla zabezpečena potřebná radiální vůle, je často potřeba použít ložiska se zvětšenou radiální vůlí. Výsledná vůle je závislá na typu a velikosti ložiska. Je tedy nutné zvažovat velikost potřebného přesahu uloženého kroužku dle typu a velikosti ložiska. Pro menší ložiska se volí menší přesahy. ¹¹

Materiál a konstrukce připojovaných částí – je nutné, aby se při návrhu uložení a určování jejich tolerancí bral v úvahu i použitý materiál a typ konstrukce připojovacích součástí. V případech, kdy se ložiska montují do těles ze slitin kovů nebo na čepy dutých hřídelů, se volí uložení s vyššími přesahy. Dělená tělesa nejsou vhodná pro uložení s velkými přesahy, jelikož je reálné nebezpečí sevření ložiska v dělicí rovině. ¹¹

Teplota – teplo, které vzniká v ložisku může vést k uvolnění přesahu na čepu, a tím dojde k protlačení kroužku. Naopak v tělese dojde k vymezení vůle a tím k omezení či vyloučení axiálního posuvu kroužku volného ložiska. ¹¹

Přesnost uložení – přesnost uložení pro ložiska z hlediska tolerancí a geometrických tvarů je důležitá, jelikož se může přenášet na oběžné dráhy ložiskových kroužků. Zejména je to důležité zohlednit v návrhu uložení, u kterých je kladen velký důraz na přesnost chodu. Větší podíl nerovností je přenášen u tenkých profilů ložiskových kroužků. Při použití ložisek normálního stupně přesnosti se pro uložení na čepu volí zpravidla tolerance v tolerančním stupni IT6 a pro úložnou plochu v tělese ve stupni IT7. Pro kuličková a válečková ložiska menších rozměrů je možné použít pro čep stupeň IT5 a díru v tělese IT6. Dovolená úchylka válcovitosti, kruhovitosti a dovolené čelní házení úložných a opěrných ploch pro ložiska musí být vzhledem k ose menší než rozsah tolerance průměrů čepu a díry. Se zvyšující přesností použitých ložisek se zvyšují i požadavky na přesnost úložných ploch (viz. obr. 2.16). ¹¹

Doporučované přesnosti tvaru úložných ploch pro ložiska			
Stupeň přesnosti ložiska	Místo uložení	Připustná úchyłka válcovitosti	Připustné čelné házení opěrných ploch vzhledem k ose
P0, P6	hřídel	IT5/2	IT3
	těleso	IT6/2	IT4
P5, P4	hřídel	IT3/2	IT2
	těleso	IT4/2	IT3

Obr. 2.16 – Doporučené hodnoty přesnosti tvaru uložení ¹¹

2.2.2. Axiální zatížení ložisek

Vnitřní kroužek ložiska s válcovou dírou, který je uložen na čepu s přesahem, se obvykle zajišťuje v axiálním směru koncovou deskou, kruhovou upínací maticí nebo pojistným kroužkem, přitom druhé čelo bývá obvykle opřeno osazením hřídele. Jako opěrná čela pro vnitřní kroužky se používají sousední součástky a pokud je to třeba, tak se mezi tuto součástku a vnitřní kroužek ložiska vkládají rozpěrné kroužky. ¹¹

Ložiska s kuželovou dírou, která jsou montovaná přímo na kuželový čep, jsou obvykle zajištěna pojistnou maticí našroubovanou na závit na hřídeli. Jsou-li ložiska namontována na stahovací pouzdro, vnitřní kroužek musí být opřen, např. o rozpěrný kroužek. Stahovací pouzdro je axiálně upevněno koncovou deskou nebo pojistnou maticí. ¹¹

2.2.3. Těsnění

Předpokladem správného chodu ložiska a dosažení dlouhé trvanlivosti je dobré utěsnění celého uložení. Těsnění můžeme rozdělit do tří základních skupin:

- Třecí těsnění – je tvořeno z pružného nebo měkkého, ale dostatečně pevného a nepropustného materiálu, který je vložen mezi rotující a pevnou součást. Pro těsnění ložisek mazaných tukem se používají plstěné kroužky. Nejrozšířenější způsob těsnění je těsnění hřídelovými kroužky GUFERO, které jsou vyrobeny z pryže vyztužené kovovou výztuhou. ¹⁰
- Bezdotykové těsnění – je tvořeno mezerou mezi neotáčející se a otáčející se součástkou. Tato mezera je obvykle vyplněna plastickým mazivem. Při tomto těsnění nedochází k opotřebení v důsledku tření, a proto se používá při použití pro vysoké obvodové rychlosti. ¹⁰
- Kombinované těsnění – Při potřebě velmi vysokého těsnění se občas kombinují různé druhy bezdotykového a třecího těsnění. ¹⁰

2.3. Dokončovací metody obrábění s úběrem materiálu

Dokončovací metody obrábění s úběrem materiálu můžeme rozdělit na:

2.3.1. Soustružení

Soustružení patří mezi klasické metody třískového obrábění a slouží především pro výrobu součástí převážně rotačních tvarů, za pomoci nejčastěji jednobřitých nástrojů různého typu a provedení – soustružnických nožů. Soustružení patří mezi nejjednodušší a nejpoužívanější způsob obrábění při kterém hlavní řezný pohyb, tedy rotační, koná obrobek a vedlejší pohyb, tedy posuvový, vykonává nástroj. ¹

Jemné soustružení

Obrábění technologií jemného soustružení patří mezi zvláštní druhy třískového obrábění a musí probíhat na strojích, které vykazují vysokou tuhost a musí disponovat vysokými otáčkami pracovního vřetene stroje, za pomoci jednobřitých nástrojů s destičkami z SK nebo diamantu. Tuto technologii můžeme zařadit do dokončovacích metod s úběrem materiálu. V dnešní době se jemné soustružení provádí především na číslicově řízených (CNC) strojích. Všechny části těchto strojů musí vykazovat statickou i dynamickou vyváženost, aby nedocházelo k vznikajícím nepřesnostem, zapříčiněným chvěním stroje. Touto technologií lze dokončovat jak vnější, tak i vnitřní plochy rotačního tvaru. ^{1,2}

Hlavními znaky jemného soustružení jsou:

- vysoká řezná rychlost v_c ,
- malá rychlost posuvu nástroje v_f ,
- malá hloubka řezu a_p .

Plocha pro jemné soustružení bývá obrobena ve stupni přesnosti minimálně IT 7 a pomocí jemného soustružení lze dosahovat hodnot drsností až $R_a=0,2-1,6 \mu m$. ³

Mezi výhody jemného soustružení můžeme zařadit například vznik minimálních deformací v povrchové vrstvě, čistotu obrobeného povrchu (absence vtlačených brusných zrn), stálost tvaru obrobené plochy zaručenou malým vývinem tepla. ²

2.3.2. Frézování

Mezi nejčastější a velmi rozšířené metody třískového obrábění patří také frézování. Jeho předností je především jeho velká výkonnost při velmi dobré kvalitě obrábění. Frézování se využívá pro obrábění hranolovitých, rovinných, tvarových nebo i rotačních ploch, dále pro obrábění drážek různých profilů nebo obrábění závitů či ozubení. Hlavní pohyb při frézování je rotační a vykonává ho nástroj (fréza). Vedlejším pohybem je pak posuv, který je obvykle přímočarý a vykonává ho nejčastěji obrobek. U víceosých obráběcích center jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se tak realizovat ve více směrech zároveň. ¹

Jemné frézování

Operace jemného frézování patří také, stejně jako u soustružení, mezi zvláštní druhy třískového obrábění, avšak často používané a řadíme ji do dokončovacích metod s úběrem materiálu. Musí se provádět na CNC strojích, které vykazují vysokou tuhost a možnost vysokých otáček vřetene, nejčastěji za pomoci frézy s břitovými destičkami ze slinutého karbidu, polykrystalického diamantu či z kubického nitridu bóru. Všechny části strojů musí být obdobně jako u jemného soustružení staticky a dynamicky vyvážené, aby nedocházelo ke chvění stroje. Touto metodou lze obrábět jak vnitřní, tak vnější plochy jednoduchých i složitějších tvarů. ²

Hlavními znaky jemného frézování jsou:

- vysoká řezná rychlost v_c ,
- malý posuv nástroje f ,
- malá hloubka řezu a_p .

Za pomoci této metody můžeme dosáhnout plochy se stupněm přesnosti IT6 až IT7 a drsnosti povrchu o hodnotě $Ra=0,4-1,6 \mu m$ ³

Výhodami jemného frézování je kovově čistý obrobený povrch bez vtlačených brusných zrn, dále minimální deformace v povrchové vrstvě nebo také stálost tvaru obrobené plochy zapříčiněné malým vývinem tepla. ²

2.3.3. Vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání

Jedná se o výrobní metody, které se využívají k při obrábění děr. Tyto operace jsou ve strojírenství velmi známé a také často používané. Obrábění děr patří mezi způsoby obrábění vnitřních ploch strojních součástí. Jejich tvary mohou být různé a odvíjí se od jejich funkce. Nejčastější a zároveň nejméně náročná je výroba rotačních děr, se kterými se ve strojírenství setkáváme nejčastěji. Charakteristickým prvkem těchto metod bývá rozměrový nástroj, který svým tvarem a ostatními technologickými vlastnostmi výrazně ovlivňuje parametry obrobené díry. Převážně se vícebřité nástroje. ^{1,4}

Vrtání

Díky této výrobní operaci se zhotovují otvory do plného materiálu nebo se zvětšují již předpracované díry (například předvrtané, předlité, předlisované, apod.). Jako nástroj se využívá vrták, který vykonává hlavní řezný pohyb, tedy rotační. Ve zcela výjimečných případech vykonává hlavní pohyb obrobek. Vedlejší pohyb je přímočarý posuvný, ve směru osy nástroje, a vykonává ho také nástroj. Při samotném vrtání je osa vrtáku nejčastěji kolmá k ploše obráběné součásti. ^{1,4}

Při vrtání záleží na tom, zdali jde o průchozí nebo neprůchozí (slepé) otvory. Průchozí otvory se z technologického hlediska obrábějí snadno, kdežto u neprůchozích děr se musí brát ohled na její zakončení, na zabezpečení přesné hloubky vrtání případně na nutnost odřezávání zbytku třísky na dně díry. ¹

Kvalita povrchu a jeho drsnost je ve většině případech průměrná a častokrát nesplňuje požadavky zákazníka. Drsnost je zpravidla vysoká a nejsou dodrženy geometrické parametry, jako například nepřesná kruhovitost a válcovitost či nedodržení jmenovitého průměru. Proto se otvory po vrtání ještě zdokonalují pomocí dokončovacích operací, jakými jsou vyhrubování a vystružování. ¹

Vrtáním obvykle dosáhneme plochy se stupněm přesnosti IT9 až IT11 a drsnosti povrchu v rozmezí hodnoty $Ra=1,6-6,3 \mu m$. ³

Vyhrubování a vystružování

Operace, jakými jsou vyhrubování a vystružování se zpřesňují tvarové charakteristiky děr a snižuje drsnost povrchu. U menších děr, obvykle do průměru 10 mm, se používá pouze operace vystružování. Větší otvory vyžadují napřed operaci vyhrubování, následně vystružování. Vyhrubování tedy slouží ke zpřesnění geometrických požadavků a vystružování k dokončení přesné díry se všemi požadovanými geometrickými parametry i drsnosti povrchu otvoru. Při výrobě musíme brát ohled na přídavky na vyhrubování, respektive vystružování. Velikost těchto přídavků závisí na druhu obráběného materiálu, na kvalitě obrobené díry a v neposlední řadě i na kvalitě nástroje. ¹

Výhrubníky jsou nejčastěji tři až pětibřité nástroje s břity ve šroubovici. Můžeme je rozdělit na stopkové, které se používají pro průměry do 30 mm. Pro větší průměry se povětšinou využívají nástrčné výhrubníky. Tělo je obvykle z konstrukční oceli a řezná část z rychlořezné oceli. Používají se také výhrubníky s připájenými břitovými destičkami. ¹

Výstružníky, na rozdíl od výhrubníků, existují ruční i strojní. Zuby mají přímé nebo ve šroubovici a skládají se z řezné části ve tvaru kužele a válcové části. Pro zabezpečení náročných požadavků na kruhovitost a kvalitu povrchu se výstružníky vyrábějí s nerovnoměrnou roztečí zubů. Počet zubů u výstružníku bývá zpravidla 4 až 18, závisí na průměru. ¹

Pomocí vystružování můžeme dosahovat ploch se stupněm přesnosti IT5 až IT8 a drsnosti povrchu v rozmezí hodnoty $Ra=0,4-1,6 \mu m$. ³

Vyvrtávání

Vyvrtávání je metoda obrábění, při které se převážně rozšiřují předlité, předlité, předkované, předlisované, předvrtané nebo jinými způsoby předzhotovené díry na požadovaný rozměr a tvar za použití vyvrtávacích nožů upevněných ve vyvrtávacích tyčích nebo hlavách. Lze takto obrábět jak otvory ve tvaru válce, kužele tak i například rotační tvarové plochy či vnitřní zápichy a lze touto metodou i řezat vnitřní závit. ^{1,4}

Kinematiku vyvrtávání můžeme rozdělit do tří základních skupin:

- Nástroj koná hlavní pohyb, vyvrtávací nůž je pevně uložen ve vyvrtávací tyči nebo hlavě a obrobek nebo vyvrtávací tyč koná podélný posuv do řezu.
- Nástroj koná hlavní pohyb, nůž se vysouvá z vyvrtávací tyče nebo hlavy plynule nebo po přítržích radiálním posuvem v příčném směru.
- Nástroj nebo obrobek koná hlavní pohyb i podélný posuv, přičemž se nůž z tyče nebo hlavy plynule nebo po přítržích vysouvá v příčném směru radiálním posuvem. ^{1,4}

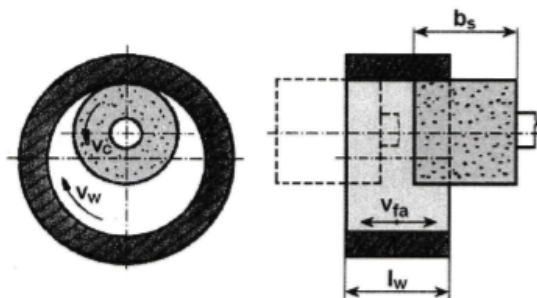
Pomocí vyvrtávání můžeme dosahovat ploch se stupněm přesnosti IT5 až IT8 a drsnosti povrchu v rozmezí hodnoty $Ra=0,4-1,6 \mu m$. ³

2.3.4. Broušení

Broušení je jedna z hlavních dokončovacích metod, při které se obrábí mnohobřitými nástroji s geometricky nedefinovatelnými řeznými hranami (brusiva, zrna). Brousící proces má podobné charakteristiky jako jiné obráběcí procesy. Dochází však při něm ke kvantitativním a kvalitativním odlišnostem, které souvisí zejména s vlastnostmi brousícího kotouče a řeznými podmínkami. Broušení se odlišuje od ostatních technologií především v různorodosti geometrického tvaru brusných zrn a jejich nepravidelným rozmístěním po ploše brousícího nástroje. Dále se broušení odlišuje například schopností tzv. samoostření, které souvisí s málo pevným ukotvením brusného zrna ve vazbě kotouče a v důsledku zvýšení řezných sil na otupených zrnech se otupená zrna vylomí a nahradí jej neotupená. Broušením můžeme docílit hodnoty drsnosti povrchu $Ra=0,6 \mu m$. ^{1,4}

Axiální broušení vnitřních ploch

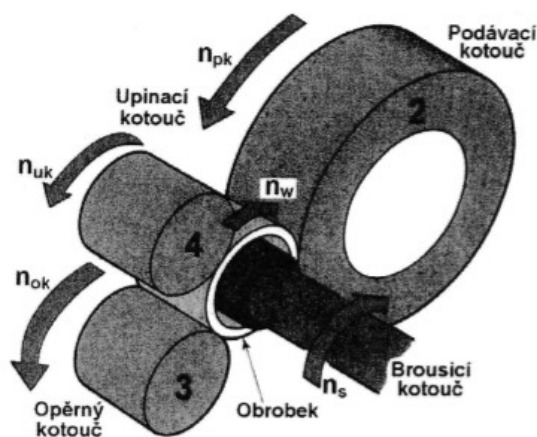
Tato metoda se využívá zejména u obrobku, kdy je jeho délka větší než šířka brousícího kotouče. Kotouč se otáčí uvnitř obrobené díry a posouvá se ve směru osy. Obrobek se otáčí kolem své osy proti směru pohybu brousícího kotouče. Při této metodě dochází k velkému namáhání brusných zrn, které vstupují do procesu oddělování třísky. Kotouč se také velmi rychle opotřebovává, zanáší se a ztrácí tak řeznou schopnost i geometrický tvar. Tato metoda se používá jen v případech, kdy nelze použít jiný způsob výroby díry.¹



Obr. 2.1 – Schéma axiálního broušení¹

Bezhroté broušení vnitřních ploch

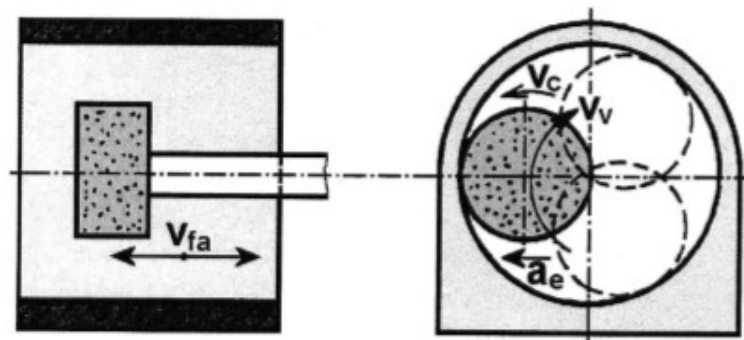
Bezhroté broušení je velmi podobné axiálnímu. Obrobek se vloží mezi tři kotouče: podávací-zajišťuje otáčení součásti, opěrný-určuje polohu součásti, upínací-přitlačuje součást k podávacímu a opěrnému kotouči. Ve srovnání s axiálním broušením lze dosahovat větší přesnosti. Tento způsob se může použít jen u součástí, které mají válcový vnější povrch souosý s broušeným vnitřním povrchem.^{1,4}



Obr. 2.2 – Schéma bezhrotého broušení¹

Planetové broušení vnitřních ploch

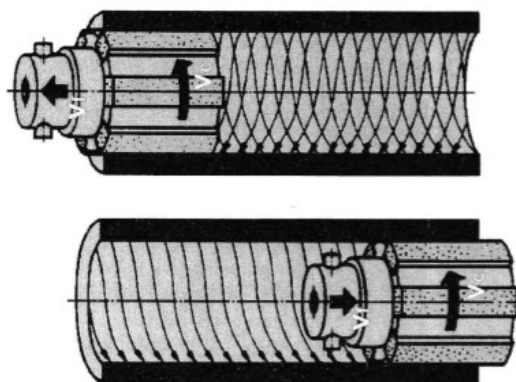
Touto technologií se obrábí otvory velkých a těžkých obrobků, jejichž obrábění je obtížné. V tomto případě obrobek stojí a brusný nástroj koná všechny pracovní pohyby – otáčí se kolem své vlastní osy, posouvá se ve směru osy broušeného otvoru a současně obíhá okolo osy obrobku. Přesnost planetového broušení je z důvodu malé tuhosti vřetena nižší. ¹



Obr. 2.3 – Schéma planetového broušení ¹

2.3.5. Honování

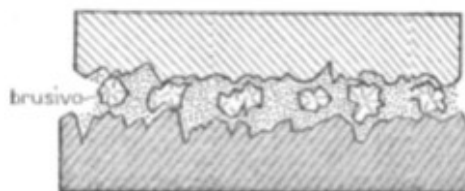
Honování patří mezi dokončovací metody obrábění, při které se obrobené povrchy dokončují jemným přebroušováním brusnými (honovacími) kameny, které jsou upevněné v honovací hlavě. Honovací hlava se otáčí a v osovému směru vratně posouvá. Honovací kameny jsou k obráběnému povrchu přitlačovány mechanismem, který umožňuje jejich radiální posuv. Kombinací rotačního a posuvového pohybu se dráhy zrn překrývají a na honovaném povrchu se objeví charakteristické stopy. Při honování se vždy používá řezná kapalina, která má významný vliv na produktivitu a dosahovanou jakost povrchu. Honování lze provádět jak ručně, tak i strojně. Řezné podmínky jsou ovlivněny zejména obráběným materiálem, požadovanými parametry přesnosti tvaru a drsnosti povrchu, ale také například použitým brusivem. Používá se například při výrobě hydraulických zařízení, válců motorů, kompresorů, a dalších. Mezi největší přednosti honování patří dosahování přesnosti IT 3 až IT5, drsnosti povrchu až na úroveň $Ra=0,1 \mu m$ a také vysoké geometrické přesnosti. ⁵



Obr. 2.5 – Princip honování ¹

2.3.6. Lapování

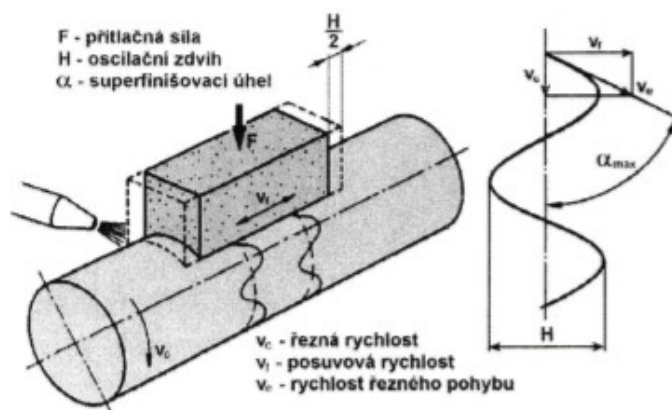
K úběru materiálu při dokončovací technologii lapování dochází účinkem zrn brusiva, které se buď přivádí mezi pohybující se lapovací nástroj a obrobek, nebo jsou zatlačené či jinak upevněné v lapovacím nástroji. Touto technologií lze dokončovat povrchy měkkých i tvrdých materiálů, ručně v kusové výrobě (za použití lapovacích past) nebo strojně v sériové a hromadné výrobě. Typickými představiteli lapovaných součástí mohou být základní měrky, doteky měřidel, kalibry, díry kluzných ložisek, ozubená kola nebo i válce a písty vstřikovacích čerpadel. Lapováním lze dosahovat stupně přesnosti v rozsahu IT1 až IT3 a drsnosti povrchu $Ra=0,05 \mu m$. Mezi nevýhody lapování můžeme zařadit například velkou pracnost, nízkou produktivitu či vysoké náklady v porovnání s ostatními dokončovacími metodami obrábění. ^{5,6}



Obr. 2.6 – Princip lapování ⁶

2.3.7. Superfinašování

Superfinašování je vysoce produktivní metoda dokončovacího obrábění vnějších a vnitřních rotačních, tvarových a rovinných ploch s vysokou přesností a nízkou drsností povrchu. Tato metoda se uplatňuje například při dokončování válivých ložisek a součástí v automobilovém průmyslu. Obrábění probíhá pomocí jemnozrnných brousících kamenů při nízkých řezných rychlostech, kdy je superfinašovací hlava přitlačována k obrobku malým tlakem, zároveň vykonává kmitavý pohyb a pohyb posuvný ve směru osy obrobku. Obrobek se pouze otáčí. Mezi nástroj a obráběný materiál se přivádí kapalina, která slouží zejména k odplavování třísky. Kameny jsou nejčastěji používány s brusivem z umělého korundu a keramickou vazbou. Dosahovaná přesnost se pohybuje v rozmezí IT3 až IT5 a lze dosahovat drsnosti povrchu $Ra=0,05 \mu m$. ^{4,6}



Obr. 2.7 – Princip Superfinišování ¹

2.3.8. Leštění

Leštění můžeme zařadit do dokončovací operace obrábění, při které se odstraňují drobné nerovnosti, ale hlavně se docílí zrcadlového lesku a vysoké jakosti obrobeneho povrchu. Obráběný materiál je odebírán mechanickým působením zrn tvrdých brousících materiálů, které jsou uchycena k leštícímu nástroji, nebo také můžou být volně nanášena mezi obrobek a nástroj. Leštění lze provádět ručně nebo strojně. Leštící kotouče mohou být zhotoveny z plsti, bavlny, gumy, kůže, nebo i jiného materiálu. Při potřebě se na plstěný kotouč lepí velmi jemné brusivo. Leštící kartáče mají střed vyroben z kovového, dřevěného nebo plastového materiálu do kterého jsou pevně uchycena vlákna z ocelového drátu, nylonu, silonu, bronzu apod. ⁶

2.4. Dokončovací metody obrábění bez úběru materiálu

Technologie dokončovacích metod obrábění bez úběru materiálu spočívá v plastické deformaci povrchové vrstvy obrobku. Některé z metod mohou mít také čistící účinek. Proces plastické deformace probíhá do hloubky maximálně v řádech milimetrů a tím pádem dochází ke zlepšení parametrů struktury povrchu a ke zvýšení tvrdosti a pevnosti. V povrchové vrstvě vzniknou příznivá tlaková zbytková napětí a zvýší se tak mez únavy, odolnost proti opotřebení a korozi. Všechny tyto aspekty kladně ovlivňují životnost a spolehlivost součástí.

K beztržiskovým metodám dokončování povrchu patří otryskávání (vrhání abrazivních částic proti povrchu obrobku), kuličkování (vrhání kovových nebo keramických kuliček proti povrchu obrobku), balotínování (vrhání skleněných kuliček proti povrchu obrobku), válečkování (úprava povrchu obrobku rotujícím prvkem – kulička, váleček, soudeček) a hlazení (úprava povrchu obrobku diamantovým hrotem). ¹

2.4.1. Otryskávání, kuličkování, balotínování

Tyto metody beztržkové úpravy ploch jsou založeny na principu vrhání aktivních částic (abrazivní zrna, kovové, skleněné nebo keramické kuličky) proti povrchu upravovaného předmětu pomocí proudu stlačeného vzduchu nebo kapaliny. Výsledná rychlost úpravy a kvalita povrchu závisí na velikosti, hmotnosti, tvaru a materiálu povrchu. Abrazivní zrna pro otryskávání mohou být vyrobena z různých organických nebo minerálních materiálů, pro kuličkování se nejčastěji používají litinové nebo ocelové kuličky o průměru 0,3 až 3 mm., pro balotínování skleněné kuličky o průměru 0,03 až 0,8 mm. ¹

K výhodám kovových kuliček je vyšší pevnost, nevýhodou pak je, že na upravovaném povrchu zanechává stopy otěru a mohou způsobit korozi. Keramické a skleněné kuličky nezanechávají na povrchu žádné stopy, ale vzhledem vysoké křehkosti se při nárazu na povrch značně deformují. ¹

Těmito metodami lze upravovat jak jednoduché, tak i tvarově složité povrchy velkého počtu rozmanitých strojních součástí jako např. ozubená kola, podvozkové nápravy, klikové a vačkové hřídele, hlavy válců, motorové bloky, písty, a další. Dosahovaná drsnost povrchu se pohybuje v rozmezí $Ra = 0,8$ až $1,6 \mu m$. ¹

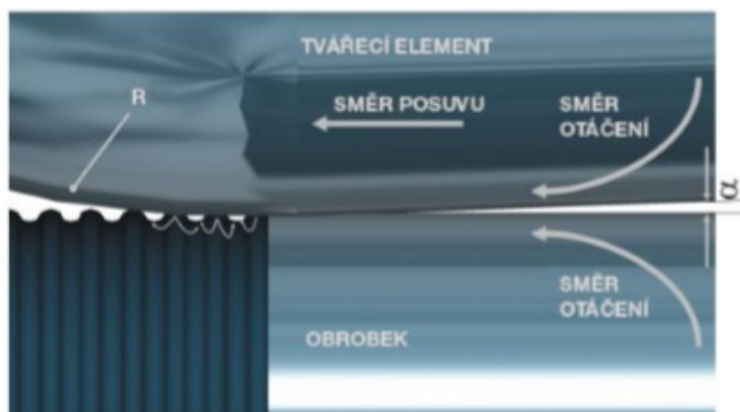
2.4.2. Hlazení

Pro beztržkové dokončování povrchu součástí vyrobených z tepelně zpracovaných ocelí se používá vyhlazování pomocí diamantu s kuželovou špičkou, která má definovaný poloměr zaoblení a je konstantní silou přitlačována k povrchu součásti. V místě styku nástroje a dokončované součásti dochází ke kluznému tření. Drsnost vyhlazené plochy závisí na materiálu součásti a pracovních podmínkách. Tato drsnost může po pár průchodech dosahovat hodnot kolem $Ra = 0,2 \mu m$. ¹

3. Teoretický rozbor technologie válečkování

Technologie válečkování patří mezi nejpoužívanější dokončovací metody bez úběru materiálu. Tato technologie spočívá ve schopnosti obráběného materiálu se deformovat. Podstata válečkování spočívá v tom, že na povrch součásti, která je již předem třískově obrobena, působí pomocí tvrdého tvářecího prvku (váleček, kulička, kotouč, trn apod.) tlak, který v bodě styku povrchů tvářecího nástroje a tvářené součásti způsobuje plastickou deformaci. V průběhu postupného přetváření dochází k několika specifickým změnám původních vlastností povrchové vrstvy materiálu u válečkované součásti (viz. obr. 3.1).¹³

V místě styku povrchu obrobku a válečkovacího nástroje dochází v materiálu ke vzniku tlakového klínu, který způsobuje postupné snižování vrcholů mikronerovností a jejich následné přemísťování do tzv. prohlubní (místa s nízkým napětím).¹³



Obr. 3.1 – Schéma průběhu napětí objemových a geometrických změn materiálu při válečkování¹²

Výhody technologie válečkování:¹⁶

- zpevnění povrchu,
- dosahovaná hodnota $R_a = 0,1 \mu\text{m}$,
- vyšší korozní odolnost,
- vysoká hospodárnost,
- nízké investiční náklady,
- vysoká spolehlivost,
- relativně krátké výrobní časy,
- vysoká přesnost,
- bezodpadová technologie.

3.1. Druhy válečkování

Dokončovací technologii válečkování můžeme, z hlediska druhu působení přitlačné síly, rozdělit na 2 hlavní druhy:

3.1.1. Statické válečkování

Statické válečkování lze definovat jako druh válečkování, při kterém působí na dokončovaný povrch váleček, který se odvaluje po povrchu součásti. Nástroje pro statické válečkování jsou převážně s odpruženým tvářecím tělískem, nebo s vyvozením tvářecí síly hydraulicky. Nástroje pro statické válečkování se využívají především v kusové výrobě a jsou vhodné pro kalibrování strojních součástí. V sériové výrobě se využívají pro válečkování rozměrnějších obrobků. Nejpoužívanějšími tvářecími tělisky jsou kuličky, kotouče nebo válečky.¹³

3.1.2. Dynamické válečkování

U dynamického válečkování není nástroj v nepřetržitém kontaktu s povrchem součásti, ale v časově omezeném silovém impulzu, při kterém dochází ke vzniku plastické deformace. Tyto silové impulzy jsou vyvozeny na tvářecí těliska několika způsoby, nejčastěji mechanicky pomocí rotujícího kužele, kroužkem s vačkovými plochami, ale také pneumaticky, magneticky, odstředivou silou nebo kombinovaně. Pomocí dynamického válečkování lze dosahovat velké hloubky zpevnění. Používá se pro hladící a zpevňovací válečkování.

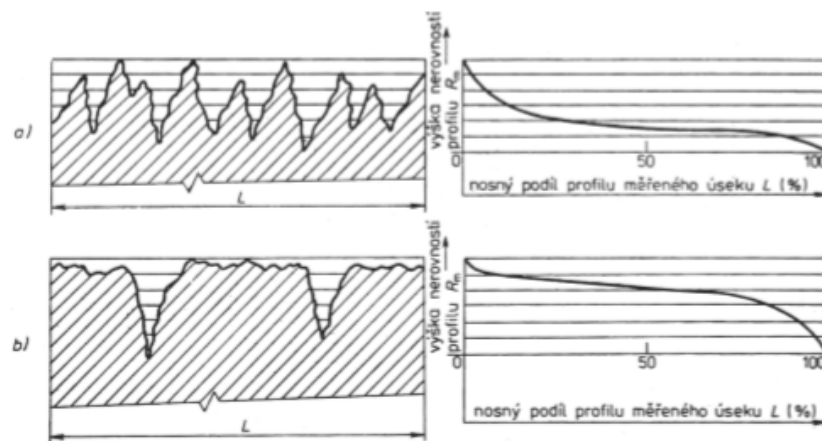
3.2. Rozhodující účinky metody válečkování

Při volbě metody válečkování se jako rozhodující hledisko požaduje vlastnost a ucelenost obrobené plochy. Z tohoto pohledu se využití válečkování může rozdělit do těchto oblastí:¹²

- vyhlazení povrchu strojní součásti (vyhlazení mikronerovnosti),
- zpevnění povrchu materiálu strojní součásti (vyšší mez únavy, tvrdosti, pevnosti),
- kalibrace rozměrů strojních součástí.

3.2.1. Vyhlazení povrchu strojních součástí válečkováním

Válečkováním povrchu lze dosáhnout nejen vyhlazení mikronerovností, ale také se podstatně sníží hodnoty drsnosti Ra. Z obr. 3.2 lze vypožorovat rozdíl tvaru profil struktury povrchu, který byl dosažen třískovým obráběním a válečkováním.¹³



Obr. 3.2 – Charakteristické tvary skutečných profilů struktury povrchu a nosné křivky těchto ploch - a) třískově obroběná plocha, b) válečková plocha ¹²

Konečná hodnota drsnosti R_a válečkové plochy závisí na řadě specifikovaných podmínek a činitelů ovlivňujících samotný proces válečkování. Patří zde například: ¹²

- velikost tlaku, který vzniká při styku nástroje a povrchu,
- mechanické vlastnosti válečkového materiálu,
- tvar a struktura povrchu před válečkováním,
- jakost a tvar válečkovacího nástroje,
- pracovní posuv válečkovacího nástroje.

Jako další činitelé, kteří ovlivňují výslednou hodnotu drsnosti R_a , jsou rychlost válečkování, způsob chlazení a mazání nebo i počet předválečkování. Významný vliv na výslednou hodnotu drsnosti R_a mají metalurgické vady materiálu (pórezita, vměstky), nebo poruchy z předcházející operace obrábění, ale také i činné části válečkovacího nástroje. Válečkováním lze dosahovat velmi nízkých hodnot drsnosti R_a . U tvárných materiálů můžeme běžně dosahovat hodnot drsnosti $R_a = 0,8$ až $0,1 \mu\text{m}$. Na obr. 3.3 lze vidět porovnání dosahovaných drsností R_a při různých způsobech obrábění. ¹³

Způsob obrábění	Hodnota R_a [μm]
Hrubé soustružení a vrtání	6 - 25
Soustružení na čisto	2,5 - 10
Jemné soustružení	1 - 4
Broušení na čisto	0,6 - 2,5
Jemné broušení, honování, lapování	0,16 - 0,6
Superfinišování	0,04 - 0,1
Válečkování	0,02 - 0,6

Obr. 3.3 – Porovnání dosahovaných drsností různými způsoby obrábění ¹²

3.2.2. Zpevnění povrchu materiálu strojní součásti válečkováním

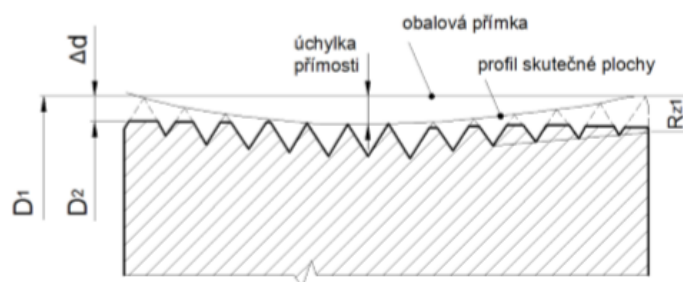
Tuto kategorii tvoří metody, při nichž rozhodující účinek spočívá v intenzivním zpevnění válečkované plochy a dochází tak k výrazným změnám mechanických vlastností válečkované součásti do hloubky až několika mm. Zpevnění povrchu také přináší snížení možnosti vzniku lomu, který často v provozu vzniká.¹³

Tvrdost válečkovaného povrchu se snižuje v závislosti na hloubce ovlivněné vrstvy. Po provedení zkoušky tvrdosti je možné zjistit, že maximální hodnota tvrdosti není na povrchu, ale přibližně 0,1 až 0,3 mm pod povrchem. Technologii válečkování lze dosahovat o 20 až 100% zvýšení tvrdosti povrchu součásti, záleží na druhu použitého nástroje a druhu válečkovaného materiálu.¹³

3.2.3. Kalibrování rozměrů strojních součástí válečkováním

Z hlediska kvalitativních účinků metod válečkování patří do této skupiny metody, u nichž je rozhodujícím prvkem dosažení požadované tolerance rozměrů a úchylek tvaru a polohy. Kalibrování pomocí válečkování má v praxi daleko užší využití než hladicí a zpevňovací proces. Důvodem je náročná příprava polotovaru, důsledné seřízení stroje, dodržení stejných pracovních podmínek v průběhu válečkování. Používá se převážně v hromadné a sériové výrobě.¹²

Na obr. 3.4. můžeme vidět schematicky znázorněný průběh kalibrace válcové plochy s úchylnou přímostí, kde dochází k plastické deformaci a ke změně rozměrů vlivem kolize dráhy nástroje s křivkou profilu skutečné plochy. Takto se dosáhne zpřesnění geometrického tvaru a snížení hodnoty úchylny přímosti.¹²



Obr. 3.4. – Schéma kalibrace plochy s úchylnami přímosti¹²

D_1 – výchozí průměr [mm]

D_2 – průměr po válečkování [mm]

Δd – hodnota stlačení plochy [mm]

R_{z1} – výchozí drsnost povrchu [μm]

3.3. Rozměry a geometrické tvary tvářecích tělísek

Pro správnou funkčnost procesu válečkování je nutné stanovit vhodné rozměry a geometrický tvar funkčních ploch tvářecího nástroje, který je po celou dobu obrábění ve styku s povrchem součásti. Nevhodně zvolené rozměry a geometrický tvar tvářecích tělísek mohou mít negativní vliv na kvalitu válečkované plochy, vznik viditelných stop, zvlnění povrchu nebo narušení již válečkovaných ploch. Dále může docházet vlivem třecích a válivých odporů ke vzniku vysokého opotřebení a zahřívání funkčních ploch tvářecích tělísek. Tělíska mohou být z kalené oceli nebo i ze slinutého karbidu.^{12,13}

Tělíska můžeme rozdělit do 2 hlavních skupin, dle konstrukčního provedení:¹²

- Tvářecí tělíska ve tvaru kotoučů, válečků, kladek apod. – konstrukčním znakem je nesení tělísek na středovém čepu, který zachycuje veškeré složky tvářecí síly.
- Odvalovací tvářecí tělíska ve tvaru, soudečku, válečku, kuželíku – při procesu se odvalují po vodící dráze nástroje, která zachycuje jednotlivé složky tvářecí síly.

Uložení válečkovacích tělísek:¹²

- pevné – dochází k vysokému tření mezi obrobkem a nástrojem,
- na ose – náboj v ose tělíska,
- kluzné – v kleci, podepřené jiným válivým elementem.

Významným faktorem, který ovlivňuje kvalitu válečkovaného povrchu je také velikost poloměru zaoblení tvářecího tělíska, kdy se při zvětšení poloměru zaoblení sníží hodnota R_z válečkovaného povrchu. Maximální velikost poloměru zaoblení se stanovuje s ohledem na velikost přitlačné síly a na geometrický tvar obráběné součásti. Obecně platí, že s rostoucí velikostí tvářecího segmentu lineárně roste i síla, která je potřebná k přitlačení tvářecího segmentu.¹²

3.4. Volba pracovních podmínek

Optimální zvolení pracovních podmínek je důležité z hlediska dosažení požadovaných hodnot jednotlivých kritérií. Nevhodné zvolení pracovních podmínek může zapříčinit nízkou produktivitu válečkování, nedostatečné vyhlazení povrchu a celkové snížení koncových vlastností dokončované součásti.¹²

3.4.1. Rychlost válečkování

Rychlost válečkování lze definovat jako rychlost, se kterou se tvářecí segment pohybuje po válečkované ploše součásti. Při statickém válečkování ploch rotačním způsobem je rychlost válečkování dána obvodovou rychlostí plochy válečkované součásti nebo nástroje. Se zvyšující se rychlosti lineárně stoupá také teplota, která se může pohybovat až do 100°C.

Rychlost válečkování lze definovat dle vzorce:

$$V_C = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} [m/min]^{12}$$

3.4.2. Pracovní posuv nástroje

Podélný posuv nástroje při válečkování můžeme zařadit, společně s velikostí tvářecí síly, k hlavním pracovním podmínkám, které výrazně ovlivňují hodnotu drsnosti povrchu a celkově produktivitu válečkování. Nepřiměřené zvyšování posuvu se negativně projeví na kvalitě povrchu, zvlnění povrchu a může také způsobit narušení povrchové vrstvy. V současné době se velikost pracovního posuvu určuje dle průměru součásti z grafu, který uvádí výrobce nástroje.¹²

3.4.3. Optimální velikost přitlačné síly

Přítlačná síla výrazně ovlivňuje hloubku plastické deformace, zpevnění povrchu a hodnotu drsnosti Ra. Přítlačná síla je závislá na poloměru válečkovacího nástroje – s rostoucím poloměrem se zvyšuje přítlačná síla. V případech dynamického válečkování není přítlačná síla rovnoměrná. U většiny válečkovacích nástrojů lze přítlačná síla měnit ve vymezeném rozsahu, avšak její optimální velikost závisí na dalších vzájemně se ovlivňujících podmínkách a faktorů. Velikost přítlačné síly pro malé průměry nástrojů dosahuje rozmezí hodnot od 100 N do 2500 N, a pro větší průměry nástroje až hodnot do 20000 N.¹²

3.4.4. Počet převálečkování

Jedná se o opakované válečkování již jednou válečkováného povrchu a používá se ke zlepšení drsnosti povrchu obrobku, které můžeme zaregistrovat již po druhém pracovním cyklu. Následné cykly nám již mohou narušit povrchovou vrstvu, přičemž se hodnota drsnosti nezmění, proto se opakování cyklu v praxi využívá ve výjimečných případech. Vyšší význam opakovaného převálečkování je ve zpevňování povrchu strojních součástí. Dosahuje se větší hloubky zpevněné části a částečně také zvýšení tvrdosti.¹²

3.4.5. Vliv chlazení a mazání

Při metodě válečkování hraje důležitou roli také mazání a chlazení, zejména pro odstranění tangenciálních složek sil, přičemž také dochází ke zlepšení výsledné hodnoty drsnosti Ra. Pro klasický proces válečkování se používá běžná chladicí emulze, pro náročnější válečkování s použitím speciálních nástrojů se využívají minerální oleje. ¹²

3.4.6. Faktory ovlivňující výsledek válečkování

Velkou pozornost při procesu válečkování je třeba věnovat čistotě pracovního prostředí. Nečistoty, jakými jsou např. zbytky ostřin nebo nečistoty v chladicí emulzi se mohou zachycovat na válečkováném povrchu a výrazně tak snížit výslednou kvalitu povrchu součásti. Pozornost se také musí věnovat válečkovacím nástrojům, který je oproti běžným nástrojům náročnější na údržbu. Mezi další faktory, které ovlivňují výslednou kvalitu můžeme zařadit například geometrické vlastnosti polotovaru, druh válečkováného materiálu nebo kvalifikaci obsluhy. ¹²

3.5. Nástroje pro válečkování

Volba nástroje pro válečkování závisí na technologii válečkování a na dosažení požadovaného výsledku: ¹²

- vyhlazení válečkované plochy součásti,
- zpevnění válečkované plochy součásti,
- kalibraci válečkované plochy součásti.

Samotné konstrukční řešení nástroje je značně ovlivněno celou řadou podmínek, jakými jsou např. geometrickým tvarem a druhem materiálu válečkováného materiálu, sériovost výroby, tvarem tvářecího segmentu, charakterem tvářecí síly atd. ¹³

Válečkovat můžeme plochy vnější, vnitřní, rovinné, válcové, kulovité, kuželové, různé průměry s i bez osazení, zkosení, otvory průchozí i slepé, rozšiřující se plochy, drážky, vybrání, zahloubení, přesazení, tvarové plochy apod. ¹²

3.5.1. Volba válečkovacího nástroje

Podle materiálu tvářecího nástroje: ¹²

- pro tvrdé materiály – slinutý karbid,
- pro měkké materiály – slinutý karbid, kalená ocelová tělíska.

Podle tvaru a rozměru nástroje:

- pro měkké materiály, větší a snadno přístupné plochy se doporučuje větší průměr, popřípadě válcový tvar nástroje,
- pro tvrdé materiály, případně složitější tvarové plochy, použití menších průměrů nástroje nebo kuličky s hydraulickým přtlakem.

3.5.2. Rozdělení nástrojů pro válečkování

Nástroje pro dokončovací metodu válečkování můžeme rozdělit na:

- Nástroje pro válečkování vnitřních a vnějších ploch

Jsou to základní a nejpoužívanější typy nástrojů, určené pro jeden konkrétní rozměr. Jsou vhodné pro sériovou až hromadnou výrobu a konstantní průměry. Rozsah průměrů si každý výrobce určuje samostatně, v případě specifického průměru vyrábí na zakázku. Pracovní délka těchto nástrojů bývá v rozmezí 50 až 100 mm, ale v případě zájmu zákazníka lze vyrobit i v jiné délce.



Obr. 3.5 – Nástroj pro válečkování vnitřních a vnějších ploch ¹⁴

- Nástroje pro válečkování čelních ploch

Tyto nástroje se využívají pro válečkování kruhových čelních ploch o malém průměru, který je dán průměrem čela nástroje.



Obr. 3.6 – Nástroj pro válečkování čelních ploch ¹⁴

- Nástroje pro válečkování kuželových ploch

Tyto válečkovací nástroje slouží pro válečkování vnějších i vnitřních kuželových ploch. Tvářecími tělisky jsou nejčastěji válečky, které bývají ze slinutého karbidu. Jsou rozmístěny po obvodu kužele a svírají mezi sebou úhel přibližně 120°. Tyto typy nástrojů jsou jednoduché na údržbu a snadno lze u nich měnit opotřeбенá těliska.



Obr. 3.7 – Nástroj pro válečkování vnitřních a vnějších kuželových ploch ¹⁴

- Jednokotoučové válečkovací nástroje

Patří mezi statické nástroje a slouží pro válečkování vnějších ploch ale i vnitřních ploch větších průměrů.



Obr. 3.8 – Jednokotoučový válečkovací nástroj ¹⁴

- Modulární válečkovací nástroj

Tento typ nástroje je vhodný pro válečkování jak vnitřních, tak vnějších ploch. Vyznačuje se širokým rozsahem svého použití a snadnou výměnou držáku nástroje nebo válečkovací hlavy. Modulární válečkovací nástroj využívá vždy jen jeden váleček, ostatní válečky jsou určeny pro výměnu.



Obr. 3.9 – Modulární válečkovací nástroje ¹⁵

- Diamantový válečkovací nástroj

Diamantové válečkovací nástroje lze využít pro válečkování vnějších nebo vnitřních ploch. Jedná se o univerzální nástroje, které se používají pro materiály s vyšší tvrdostí a umožňují válečkovat různé tvarové plochy, které jsou špatně přístupné. Diamantové nástroje mají poměrně vysokou životnost, v případě opotřebení se brousí nebo se mění pouze diamantová špička.



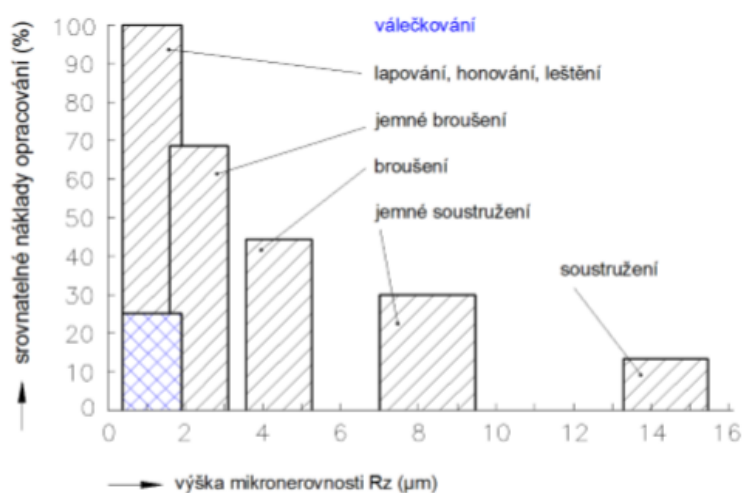
Obr. 3.10 – Kombinovaný diamantový nástroj ¹⁴

3.6. Stroje pro válečkování

Technologie válečkování lze, za určitých podmínek (pracovní parametry, výkon, přesnost tuhost stroje), provádět na univerzálních strojích (soustruh, frézka, hoblovka) a obráběcích centrech, za účelem hladicího válečkování. Z hlediska zpevňovacího válečkování musí stroj vyhovovat kritériím v oblasti jeho tuhosti. Z tohoto důvodu se používají pro zpevňovací válečkování speciální válečkovací stroje. ¹²

3.7. Ekonomická efektivnost procesu válečkování

Technologie válečkování lze zařadit v současnosti mezi velmi využívané způsoby dokončovacích obrábění i z hlediska ekonomické stránky. Ekonomická výhodnost se neprojevuje pouze ve snížení výrobních nákladů, ale i ve zvýšení užitné hodnoty. Na obr. 3.11 lze vidět porovnání metody válečkování s ostatními dokončovacími metodami v závislosti na dosažené hodnotě Rz. ¹²



Obr. 3.11 – Výrobní náklady jednotlivých metod obrábění v závislosti na dosažené hodnotě Rz ¹²

Touto technologií jsme schopni vůči běžným dokončovacím metodám docílit úspor ve výrobních nákladech. Především v kusové výrobě lze technologii válečkování docílit v požadované kvalitě, při nízkých nákladech na výrobu a bez nutnosti pořízení speciálních strojů. ¹²

Mezi hlavní technicko-ekonomické ukazatele přispívající ke snížení nákladů patří: ¹⁶

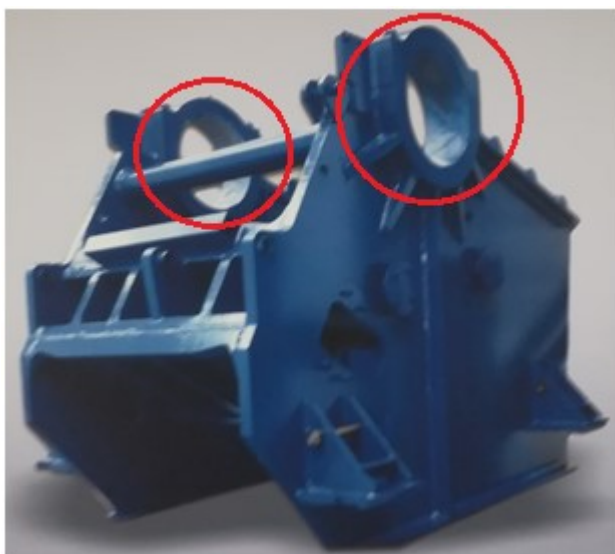
- zvýšení produktivity práce,
- snížení strojních časů,
- úspora při nákupu strojních zařízení,
- hospodárnost a ekologičnost.

Dosahované výsledky válečkováním jasně potvrzují, že využití této dokončovací metody je výhodné z hlediska úspory výrobních časů a úspory nákladů vůči ostatním dokončovacím procesům obrábění. ¹⁶

4. Experimentální část

4.1. Úvod a cíl experimentu

V tomto experimentu jsem se zabýval dokončovací operací obrobení uložení pro ložiska součásti, která se využívá k drcení kamene. Jednalo se o průměr 2x Ø 460 M6 (viz. příloha A), který byl podmíněn drsností povrchu Rz a tolerancemi válcovitosti, rovnoběžnosti a soustřednosti. Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, jestli zvolená dokončovací metoda válečkování bude splňovat všechny kritéria zákazníka na drsnost povrchu a zmíněné tolerance tvaru a polohy.



Obr. 4.1 -Součást pro drtič kamene

4.2. Vlastnosti materiálu

Materiál: S355 J2 – konstrukční, nízkolegovaná ocel, vhodná na strojní součásti, dobrá svařitelnost, vhodná pro galvanizaci. ¹⁸

Chemické složení:

Tab. 4.1 – Chemické složení oceli S355 J2 ¹⁷

Chemické složení [%]					
C	Mn	Si	P	S	Cu
0,20	1,60	0,55	0,03	0,03	0,55

Mechanické vlastnosti:

Tab. 4.2 – Mechanické vlastnosti oceli S355J2 ¹⁷

Mechanické vlastnosti			
Mez kluzu Re [MPa]	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A5 [%]	Tvrдость [HB]
295 - 355	450 - 630	18 – 22	150 - 190

4.3. Popis stroje

Experiment se prováděl na univerzálním frézovacím CNC stroji AXIA 70

Parametry stroje AXIA 70:

- řídicí systém Heidenhain 530 HSCI
- souvislé řízení 5-ti os s lineární kruhovou interpolací, hlava indexovaná ve 2 osách
- rozjezd os (X,Y,Z) : 2x3000 x 2800 x 1400
- rozměry stolu – 2 stoly - 1400 x 1600 mm
- nosnost stolu – 2 x 20 000 kg
- max. otáčky – 4000 min⁻¹
- výkon, vřetena – 28 kW
- zásobník na 60 nástrojů – max. doba výměny nástroje 40 vteřin
- chlazení nástrojů osou vřetena a vnějším přívodem s konečným tlakem 15 barů



Obr. 4.2 – Univerzální frézovací CNC stroj Correa Axia 70 ¹⁹

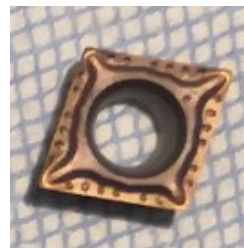
4.4. Popis použitých nástrojů

K dokončovacímú procesu obrábění uložení ložisek drtiče kamene se využívá těchto nástrojů:

- Hrubovací tyč Ø460mm firmy D'Andrea + břitové destičky firmy Sumimoto.

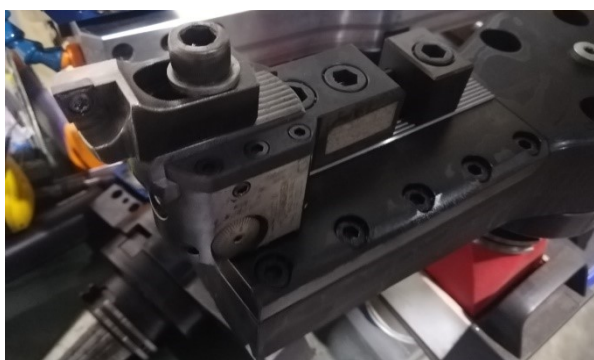


Obr. 4.3 – Hrubovací tyč Ø460



Obr. 4.4 –
Břitová destička
Sumimoto

- Hladící tyč Ø460mm firmy D'Andrea + břitové destičky firmy Walter.

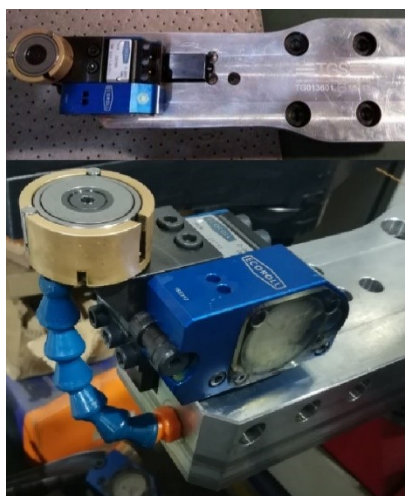


Obr. 4.5 – Hladící tyč Ø460



Obr. 4.6 –
Břitová destička
Walter

- Válečkovací tyč + hlava Ø460mm firmy TGS a Ecoroll + válečkovací tělísko firmy Ecoroll.



Obr. 4.7 – Válečkovací tyč Ø460



Obr. 4.8 –
Válečkovací tělísko
Ecoroll

4.5. Popis předchozího řešení problematiky leštěním

V minulosti bylo snahou o splnění požadavků při dokončovací operaci obrobení uložení pro ložiska za pomoci leštění leštícím kotoučem společně se speciální leštící pastou s abrazivními zrnky. Bohužel tato technologie byla časově zdlouhavá a málo efektivní, jelikož se s obtíží dosahovalo požadované drsnosti R_z a hodnot tolerancí tvaru a polohy.



Obr 4.9 – Ustavování součásti do přípravku

4.5.1. Postup při dokončovací operaci obrobení uložení leštěním

Při operaci obrobení uložení ložisek pomocí leštění se využívalo celkem čtyř nástrojů, přičemž se celý proces odehrával na jednom stroji (viz. bod 4.3). Z toho důvodu, že se jedná o výpalek, je hodnota přídavku na obrábění rovna 15 mm. Nejprve se otvor, který se skládá ze dvou k sobě sešroubovaných přírub, obráběl kruhovým cyklem pomocí hrubovací frézy, která sloužila k odstranění povrchové vrstvy, ve které se nacházela nežádoucí vnitřní napětí vzniklá po vypalování. Z důvodů vysoké drsnosti povrchu po obrábění hrubovací frézou následovalo obrábění pomocí hrubovací tyče, které mělo za úkol snížení této hodnoty drsnosti povrchu. Poté se pomocí hladící tyče dosahovalo požadované přesnosti uložení. V konečné fázi se pomocí leštícího kotouče a leštící pasty dosahovalo požadované drsnosti povrchu. Níže jsem uvedl řezné podmínky a parametry nástrojů pro dokončovací způsob obrobení uložení leštěním:

- Hrubovací tyč Ø460mm firmy D'Andrea + břitové destičky firmy Sumimoto.

$$V_c = 216 \text{ m/min} ; V_f = 30 \text{ mm/min} ; n = 150 \text{ min}^{-1}$$

- Hladící tyč Ø460mm firmy D'Andrea + břitové destičky firmy Walter.

$$V_c = 174 \text{ m/min} ; V_f = 15 \text{ mm/min} ; n = 120 \text{ min}^{-1}$$

- Leštící kotouč + leštící pasta.

4.5.2. Celkový čas a cena dokončovacího způsobu leštění

V tabulce 4.3 jsem uvedl celkový strojní čas dokončovacího způsobu leštění a vypočetl náklady na dokončovací operaci leštění na 1 kus z pohledu strojního času. Všechny zmíněné operace probíhaly na jednom stroji.

Tab. 4.3 – Celkový čas dokončování leštěním

Operace	Čas [min]
Hrubování	2x7
Hlazení	2x18,3
Leštění	85
Celkem	135,6

Sazba stroje: 2900 Kč / hod

Celkové náklady dokončovacího způsobu leštění:

$$T_{Cl} = 135,6 \text{ minut} \rightarrow 2,26 \text{ hodin}$$

$$N_{Cl} = 2900 * T_{Cl} = 2900 * 2,26 = \mathbf{6554 \text{ Kč / kus}}$$

4.6. Popis nového řešení problematiky válečkováním

Dokončovací metoda obrobení uložení pro ložiska se provedla pomocí válečkovací hlavy firmy Ecoroll. V přípravě na operaci válečkování byl kladen veliký důraz na čistotu povrchu, jelikož jakékoliv nečistoty by mohly ovlivnit výslednou drsnost a přesnost povrchu po válečkování.



Obr. 4.10 – Princip ustavení součásti

4.6.1. Postup při dokončovací operaci obrobení uložení válečkováním

Při operaci obrobení uložení ložisek pomocí válečkování se využívá obdobného postupu jako při technologii leštění, také na jednom stroji. Nejprve se otvor obrábí kruhovým cyklem pomocí hrubovací frézy. Poté se obrábí pomocí hrubovací a následně hladící tyče. V konečné fázi se pomocí válečkovací tyče dosahuje požadované drsnosti. Níže jsem uvedl řezné podmínky a parametry nástrojů pro dokončovací operaci obrobení uložení válečkováním (viz. kapitola 4.4 použité nástroje).

- Hrubovací tyč Ø460mm firmy D'Andrea + břitové destičky firmy Sumimoto.

$$V_c = 216 \text{ m/min} ; V_f = 30 \text{ mm/min} ; n = 150 \text{ min}^{-1}$$

- Hladící tyč Ø460mm firmy D'Andrea + břitové destičky firmy Walter.

$$V_c = 174 \text{ m/min} ; V_f = 15 \text{ mm/min} ; n = 120 \text{ min}^{-1}$$

- Válečkovací tyč a hlava Ø460mm firmy TGS a Ecoroll + válečkovací tělíska firmy Ecoroll.

$$V_c = 145 \text{ m/min} ; V_f = 10 \text{ mm/min} ; n = 100 \text{ min}^{-1}$$

4.6.2. Celkový čas a cena dokončovacího způsobu válečkováním

V tabulce 4.4 jsem uvedl celkový strojní čas dokončovacího způsobu válečkování a vypočetl náklady na dokončovací operaci válečkování na 1 kus z pohledu strojního času. Všechny zmíněné operace probíhaly na jednom stroji.

Tab. 4.4 – Celkový čas dokončování válečkováním

Operace	Čas [min]
Hrubování	2x7
Hlazení	2x18,3
Válečkování	2 x 12,6
Celkem	75,8

Sazba stroje: 2900 Kč / hod

Celkové náklady dokončovacího způsobu leštění:

$T_{Cv} = 75,8 \text{ minut} \rightarrow 1,27 \text{ hodin}$

$N_{Cv} = 2900 * T_{Cv} = 2900 * 1,27 = \mathbf{3683 \text{ Kč / kus}}$

4.6.3. Kontrola rozměru, drsnosti a tolerance tvaru a polohy

- Kontrola průměru 460 M6:

měřeno pomocí číselníkového úchylkoměru

tolerance m6 – horní mez = -0,010 ; dolní mez = -0,050

naměřená hodnota odchylky = -0,040 \rightarrow v toleranci

- Kontrola drsnosti povrchu $R_z = 6,3 \text{ } \mu\text{m}$:

měřeno pomocí drsnoměru Mitutoyo Surf test 301



Obr 4.11 – drsnoměr *Mitutoyo SurfTest 301*

naměřená hodnota drsnosti $R_z=7,6 \mu\text{m}$



Obr. 4.12 – naměřená hodnota R_z na drsnoměru *Mitutoyo SurfTest 301*

Naměřená hodnota drsnosti R_z nesplňovala požadavky z důvodu chyby měření. V tuto chvíli technologie válečkování nesplňovala požadavky na kvalitu drsnosti povrchu a experiment byl tak neúspěšný. Následná kontrola drsnosti v oddělení kvality prokázala skutečnou naměřenou hodnotu drsnosti $R_z=4,7 \mu\text{m}$, čímž tato hodnota splňovala požadavky na kvalitu drsnosti povrchu. (viz. příloha B).

- Tolerance tvaru a polohy

Naměřené hodnoty tolerancí tvaru a polohy jsem shrnul do tabulky 4.5. Součást vyhovuje předepsaným parametrům. Protokol z měření jednotlivých tolerancí se nachází v příloze C.

Tab 4.5 – naměřené hodnoty tolerancí tvaru a polohy

-	-	Jmenovitý průměr [mm]	Tolerance max. [mm]	Tolerance min. [mm]	Naměřená hodnota [max]	Naměřená hodnota [min]
Rovnoběžnost	levá příruba	460	0,500	-	0.171	-
	pravá příruba	460				
Soustřednost	levá příruba	460	0,700	-	0,015	-
	pravá příruba	460				
Válcovitost	levá příruba	460	459,990	459,950	459,974	459,973
	pravá příruba	460	459,990	459,950	459,989	459,988

4.7. Technicko-ekonomické zhodnocení

Výsledky experimentu nám jasně potvrdily jednu z největších výhod dokončovacího procesu válečkování, kterou je bezesporu produktivita práce. Technologií válečkování se podařilo výrazně snížit celkový čas dokončovacího procesu obrobení uložení ložisek, a to o 59,8 minut na 1 kusu s podstatně lepšími výslednými hodnotami drsnosti povrchu a tolerancemi tvaru a polohy. Při průměrné měsíční produkci 7 kusů (odvívá se od požadavků zákazníka) se uspoří 6,98 hodin strojního času. Zároveň se podařilo snížit náklady na dokončovací proces o 2871 Kč na 1 kusu ve prospěch válečkování, což při produkci 7 kusů měsíčně činí úsporu 20 097 Kč. Tyto výsledky dokazují efektivitu dokončovacího způsobu válečkování a řadí jej tak na vrchol nejekonomičtějších a zároveň nejproduktivnějších dokončovacích způsobů obrábění.

5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navržení vhodné konečné úpravy obrobení uložení pro ložiska drtiče kamene. Samotnou bakalářskou práci jsem rozčlenil do třech hlavních částí, ve kterých jsem postupně uvedl jednotlivá kritéria, která se vyžadují při dokončovacích procesech obrábění strojních součástí. Dále jsem popsal jednotlivé metody dokončovacího způsobu obrábění, které se v tuto chvíli ve strojírenství využívají. Následně jsem podrobně popsal technologii válečkování a v konečné fázi jsem se zaměřil na samostatnou experimentální část.

V první části jsem se nejprve zabýval požadavky na kvalitu drsnosti povrchu, kde mimo jiné popisují jednotlivé významy značení drsnosti. Dále jsou zde rozebrány jednotlivé druhy tolerancí tvaru a polohy. Následně jsem okrajově popsal ložiska, jejich rozdělení v rámci působení síly a také uvedl požadavky na uložení pro ložiska. V posledním bodě této části jsem se věnoval jednotlivým metodám dokončovacího procesu obrábění.

V druhé části jsem rozebral celý princip válečkování. Nejprve jsem uvedl podstatu válečkování a následně jsem válečkování rozdělil do dvou hlavních skupin. Poté jsem uvedl rozhodující metody válečkování a dále se zabíral rozměry a geometrickými tvary válečkových tělísek. Dále jsem rozebral oblast volby pracovních podmínek. V konečné fázi kapitoly válečkování jsem porovnal z ekonomického hlediska ostatní dokončovací operace právě s dokončovací operací válečkování.

Ve třetí části jsem se věnoval samotnému experimentu, který spočíval v otestování, zda je zvolená dokončovací operace válečkování tou vhodnou pro obrobení uložení ložisek drtiče kamene. Popsal jsem stroj, na kterém se experiment odehrával, použité nástroje i předchozí používanou technologii. U předchozí i současné dokončovací technologii jsem vypočítal celkové strojní časy na výrobu 1 kusu i celkovou cenu dokončovací operace výroby 1 kusu. Zjištěné hodnoty jsem mezi sebou porovnal a vypočítal tak časovou a finanční úsporu při měsíční produkci ve prospěch válečkování. V této části jsem si ověřil, že metoda válečkování je vhodnou dokončovací metodou z ekonomického hlediska a z hlediska produktivnosti.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 150 s. 2. díl. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [2] ELEKTRONICKÁ UČEBNICE: *Dokončovací metody* [online]. Olomouc, 2018 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1377>
- [3] HAMERNÍK, Jan. *Dokončovací operace* [online]. 2003 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/Dokoper.htm>
- [4] KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 271 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [5] VASILKO, Karol. *Top trendy v obrábání*. Žilina: Media/ST, 2006, 218 s. III./VI. část, Technológia obrábania. Stroje, materiály, technológie. ISBN 80-968954-2-7.
- [6] GEISTOVÁ, Michaela. *Dokončovací metody obrábění* [online]. 2012 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/texty/texty/ZAV/ZAV3-Dokončovací%20metody%20obrábění-UT.pdf>
- [7] PERNIKÁŘ, Jiří, Miroslav TYKAL a Josef VAČKÁŘ. *Jakost a metrologie: část: metrologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 155 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1997-0.
- [8] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 104 s. Část 1. ISBN 80-248-0672-X.
- [9] E-konstrukter. *Geometrické tolerance* [online]. 2014 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/geometricke-tolerance>
- [10] MYNÁŘ, Vladimír. *Části strojů: osy a nápravy, hřídele, čepy, valivá ložiska, kluzná ložiska, spojky a brzdy, základní mechanizmy, potrubí a armatury*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1979. 398s.
- [11] ZKL GROUP. *Ložiska - všeobecné údaje* [online]. 2012 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/7-loziska-vseobecne-udaje>
- [12] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 246 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4025-8.

- [13] VAJSKEBR, Jiří a Zdeněk ŠPETA. *Dokončování a zpevňování povrchu strojních součástí válečkováním*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 184 s. Knižnice technických aktualit.
- [14] SUGINO MACHINE LIMITED. *Roller burnishing tool* [online]. 2001 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.sugino.com/site/roller-burnishing-tool-e/>
- [15] BAUBLIES GROUP. *Válečkovací nástroje* [online]. 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.baublies.com/nastroje.html#single-roller-burnishing-tools>
- [16] ECOROLL. *The Basic Principles of Roller Burnishing* [online]. 2020 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.ecoroll.de/en/processes/roller-burnishing.html>
- [17] B2B METAL. *S355J2 Steel Grade, Mechanical Properties, Chemical Composition, Grade Equivalent* [online]. 2014 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <http://www.b2bmetal.eu/en/pages/index/index/id/149/>
- [18] OVAKO - steel navigator. *S355J2 General Information* [online]. 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/s355j2/>
- [19] CORREA. *Moving Column Milling Machine AXIA* [online]. 2020 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.nicolascorrea.com/en/axia>

Poděkování

Na závěr bych chtěl poděkovat pánu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za vedení, konzultace, a rady při tvorbě bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat pánu Ing. Karlovi Horníkovi a pánu Rudolfovi Karasovi za pomoc při tvorbě práce, odborné rady a poskytnuté materiály k řešení dané problematiky.